

**Diagnóstico de la vía antigua al municipio de Restrepo-Meta,
km 1, sector Ranchón del Maporal y estación de servicio
Cimarrón y propuesta de la estructura del pavimento flexible.**



Néstor Camilo Rey Caraballo

**Universidad Santo Tomás
Facultad de Ingeniería Civil
Villavicencio,
Febrero
2018**

**Diagnóstico de la vía antigua al municipio de Restrepo-Meta,
km 1, sector Ranchón del Maporal y estación de servicio
Cimarrón y propuesta de la estructura del pavimento flexible.**

Néstor Camilo Rey Caraballo

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de **Ingeniero(a) Civil**

Director

Germán Ernesto Chicangana Monton MSc

Codirector

Paulo José Aragón Otero, Ing. Civil

Universidad Santo Tomás

Facultad de Ingeniería Civil

Villavicencio,

Febrero

2018

AUTORIDADES ACADÉMICAS

P. Juan Ubaldo LOPEZ SALAMANCA, O.P.

Rector General

P. Mauricio Antonio CORTÉS GALLEGO, O. P., O.P.

Vicerrector Académico General

P. José Arturo RESTREPO RESTREPO, O.P.

Rector Sede Villavicencio

P. Fernando CAJICA GAMBOA, O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Adm. JULIETH ANDREA SIERRA TOBON

Secretaria de División Sede Villavicencio

Phd. JHON JAIRO GIL PELAEZ

Decano Facultad de Ingeniería Civil

NOTA DE ACEPTACIÓN

JHON JAIRO GIL PELAEZ
Decano de Facultad de Ingeniería Civil

GERMÁN ERNESTO CHICANGANA MONTON
Director Trabajo de Grado

EDUIN FERNANDO VALDES
jurado

BREGY HASSLER CHOQUE
jurado

Villavicencio, Febrero de 2018

DEDICATORIA

- A Dios primero que todo, en segunda instancia, mi familia, quien todo el tiempo estuvo pendiente y brindó apoyo cuando más lo necesitaba y por ella salí adelante.

AGRADECIMIENTOS

- A Dios, quien nos dio la oportunidad de dar un paso más adelante en la realización de nuestra formación personal.
- A mi familia, quien me apoyó durante todo el tiempo.
- A mi Codirector de trabajo de grado: Ing. Paulo José Aragón Otero, por su orientación, dedicación, lo cual contribuyó a realizar de manera efectiva este proyecto, y al profesor Germán Chicangana por su apoyo.
- A los docentes, quienes compartieron su conocimiento y estuvieron gran parte del tiempo brindando su ayuda.
- A la Universidad Santo Tomás, sede Villavicencio, por acogerme en su casa y abrir este espacio formativo tan importante en mi formación personal.
- A todas y cada una de las personas quien colaboró con la elaboración de mi proyecto.
- A todos mis amigos, compañeros de la universidad que formaron parte de este camino, con los que compartí alegrías, esperanzas y sueños que hoy se están haciendo realidad y a mi novia por ser un pilar importante en mi vida.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	11
ABSTRACT	12
Capítulo 1. INTRODUCCIÓN	13
1.1 Motivación y Formulación del Problema	14
1.2 Finalidad	15
1.2.1. Objetivo General	15
1.2.2. Objetivo Específicos	15
1.3 Aportes del Trabajo	16
1.4 Organización del Documento	17
Capítulo 2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA Y CIENTÍFICA	18
2.1. Marco Teórico	19
2.2. Marco Legal	23
2.3. Estado del Arte	26
2.4. Conclusión del Capítulo	29
Capítulo 3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	30
3.1. Criterios de Diseño	31
3.2. Descripción de etapas y tareas	34
3.3. Descripción de los productos finales	34
Capítulo 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	42
Capítulo 5. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	51
5.1. Conclusiones	51
5.2. Trabajos Futuros	53
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
ANEXOS	56

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Impactos generados, tras el desarrollo del proyecto.....	16
Tabla 2. Resumen de ensayos parte 1.....	32
Tabla 3 Resumen de ensayos parte 2.....	33
Tabla 4 Resumen de estudio de tránsito (Restrepo- caño seco)	35
Tabla 5 Categoría de la vía	36
Tabla 6 Periodo de diseño	37
Tabla 7 Coeficiente estructural.....	40
Tabla 8 Alternativas de estructura de pavimento	40
Tabla 9 Población afectada en Villavicencio	42
Tabla 10 Demanda, oferta y déficit de la infraestructura vial de Villavicencio	43
Tabla 11 Resumen presupuesto vigencia 2017 – 2020 para el mantenimiento de la infraestructura vial de Villavicencio, meta.....	44
Tabla 12 Sondeo número uno	46
Tabla 13 Sondeo número dos	46
Tabla 14 Sondeo número tres	47
Tabla 15 Sondeo número cuatro	48
Tabla 16 Sondeo número cinco	49
Tabla 17 Sondeo número seis.....	50

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1 Carencia de barandas de seguridad vial en curva del sector 1. Alto riesgo de accidentalidad.	14
Imagen 2 Riesgo de precipicio en el sector 2, no hay barandas de seguridad y no se cuenta con señalización en la zona.	22
Imagen 3 Antigua vía hacia el municipio de Restrepo. En recuadro a la derecha la zona de estudio ampliada, indicando el inicio y el fin del tramo de carretera analizado. Se destaca aquí el Puente caño seco.	28
Imagen 4 Deterioro de la carpeta asfáltica por el tipo de falla, “piel de cocodrilo”, con un nivel de afectación alto. Se puede observar la formación de un bache en la zona central y cantidad de agua contenida en él. Sector 2.	31
Imagen 5 Estructura del pavimento flexible propuesto, con una calzada de seis metros de longitud.	52
Imagen 6 Espesor de la carpeta asfáltica, sector 1. Medición a partir de un bache en la vía.	52
Imagen 7 Vía antigua hacia Restrepo, sector 1. Con deterioro en la capa de rodadura e índice de lesión tipo, piel de cocodrilo en la margen izquierda y en el centro afectación de baches, nivel de seriedad medio.	56
Imagen 8 Afectación en la carpeta asfáltica, con una lesión tipo piel de cocodrilo en el sector 1. Con un nivel de daño medio.	56
Imagen 9 Afectación por huecos y abultamientos en la carpeta asfáltica en el sector 2. Se observa gran cantidad de agua que escurre de la montaña, causando un deterioro más al pavimento.	57
Imagen 10 Abultamientos y huecos con gran cantidad de agua escurrida de la montaña en el sector 2, riesgo de accidentalidad para motociclistas.	57
Imagen 11 deterioro de la carpeta asfáltica con visión de la base en concreto, esto se debe por el puente que se encuentra sobre la vía. Se observa aun la cantidad de agua sobre la capa de rodadura.	58

Imagen 12 Huecos en la capa de rodadura, con un nivel de seriedad medio. Sector 2	58
Imagen 13 Falla de la carpeta asfáltica. Huecos con un nivel de seriedad alto, se rellenó con escombros, material ajeno a la estructura del pavimento. Sector 2. Gran riesgo de accidentalidad.	59
Imagen 14 Falta de barandas de seguridad en curva peligroso, riesgo de precipicio. Sector 2	59
Imagen 15 Sector de Quebrada Honda, zona más afectada en el estudio. Grietas en el pavimento y gran cantidad de huecos a lo largo del tramo. Sector 2.	60
Imagen 16 Deterioro en la carpeta asfáltica en el sector 3, se encuentra una lesión tipo piel de cocodrilo, con un nivel de seriedad bajo, no se alcanza a observar parte de la base.	60
Imagen 17 Sector 3, estación de servicio Cimarrón, capa de rodadura de la estructura del pavimento es regular, no cuenta con deterioros tan grandes como los otros dos sectores. No se cuenta con obras de drenaje en este sector.	61
Imagen 18 Plano de la zona de estudio, sector 1, 2 y 3.	61
Imagen 19 Perfil estratigráfico del sondeo 1	62
Imagen 20 Perfil estratigráfico del sondeo 2	63
Imagen 21 Perfil estratigráfico del sondeo 3	64
Imagen 22 Perfil estratigráfico del sondeo 4	65
Imagen 23 Perfil estratigráfico del sondeo 5	66
Imagen 24 Perfil estratigráfico del sondeo 6	67

RESUMEN

El proyecto de investigación establece un diagnóstico de un tramo de carretera. Es una vía secundaria y que comunica a los municipios de Villavicencio y Restrepo en el departamento del Meta. Se encuentra ubicada en el km 1 de la vía antigua hacia Restrepo. Fue la primera en utilizarse para conectar a estos dos municipios y se usó para el transporte de animales, materia prima y personas, entre otras. La vía tiene más de 70 años de antigüedad, ya que fue la vía que conectó el puente Eduardo Santos (conocido como el puente antiguo vía, sector Bavaria), que se construyó en el año 1943. La investigación se enfocará directamente en el sector de Quebrada Honda, el cual presenta lesiones en la carpeta asfáltica y riesgo en la accidentalidad. Realizando este diagnóstico, se podrá establecer si es necesario un nuevo diseño para todo el tramo o para las partes más afectadas de esta vía, estableciendo un sistema de drenaje para controlar el escurrimiento que existe en la montaña y que afecta al pavimento, se plantea instaurar elementos de seguridad vial, para reducir el riesgo de accidentalidad que se presenta en el sector que cruza a la Quebrada Honda. La importancia de tener esta vía en un estado óptimo, ya que cuando se presenta congestión en la vía principal hacia Restrepo, es la opción de tomar esta vía alterna. En la actualidad la vía es transitada por buses de transporte público, taxis, volquetas, motos, entre otros. Siendo aún muy importante para la comunicación entre estos dos municipios y veredas aledañas.

Palabras Clave- Pavimento, Seguridad vial, Comunicación, Carretera, Accidentalidad, Mantenimiento.

ABSTRACT

The research work establishes an analysis of a sector way of this road. It is a second-order road and communicates to Villavicencio city with Restrepo city in the Colombian department of Meta. It is located in km 1, of old road that connect Villavicencio with Restrepo. In its road's history, this was used for transport animals, basic products and people, among others. The road was built more than 70 years ago, according to the history of the Eduardo Santos Bridge (This bridge was built in 1943). The research work will focus directly on the sector that crosses the Quebrada Honda, which presents damage in the asphalt layer and this high risk in car accidents. In making of this analysis, it will be possible to establish if a new design is necessary for the whole section or for the most affected parts of this road, establishing a drainage system to control the runoff that exists in the mountain and affects the asphalt layer, also its proposed install elements of road safety, for reduce the risk of car accidents that occurs in the Quebrada Honda sector. The importance is achieve that this route is in optimal conditions, because this is the option for descongest to main road that leads to the north of the Meta department. In the present time, the road is use by buses, taxis, dump trucks, motorcycles, among others. Being still very important for the communication between these two municipalities and surrounding roads.

Key Word- Pavement, Road safety, Communication, Highway, Car accidents, Road maintenance.

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

En el siguiente documento, se presentarán los componentes necesarios para el desarrollo del proyecto de investigación. La problemática que se analiza y a partir de ella se desenlazan las características de la misma. Demostrando la importancia del desarrollo de este, hasta cómo se va a desarrollar y que herramientas se piensan utilizar. Llevando a cabo estudios necesarios para obtener parámetros de diseño, con el fin de desarrollar la ilustración de las obras que se van a instaurar en la zona de estudio.

El proyecto de investigación estará compuesto por fases, facilitando el progreso del mismo. La implementación de los estudios para la obtención de información, estarán impuestos en la primera fase proyecto. Sucesivamente irán los cálculos y diseño de la estructura del pavimento flexible para el tramo de estudio. Por último, se realizará la entrega de todos los resultados obtenidos desde la primera fase.

El diagnóstico que se realizará en la zona de estudio es muy importante, ya que con él, se podrá definir el diseño de la estructura del pavimento o solo su carpeta asfáltica. Se analizará el flujo vehicular que opera actualmente por este sector y otros factores que influyen el desarrollo del proyecto.

En el proceso de estudio, el análisis de riesgo en la vía será necesario. En el tramo de vía que se va a estudiar, existen sectores con mayor influencia de accidentes automovilísticos. Para la implementación de elementos de seguridad vial, será necesario instaurar este análisis en el diagnóstico. El riesgo es aún mayor, cuando se observan familias viviendo de bajo de los altos acantilados que se presentan en la carretera. Es muy común observar deslizamiento de rocas y material de la montaña, no solo está en peligro la vida de los usuarios que utilizan esta vía, sino también los que viven en las laderas y bajo la carretera.



Imagen 1 Carencia de barandas de seguridad vial en curva del sector 1. Alto riesgo de accidentalidad.

1.1 Motivación y Formulación del Problema

El deterioro de una estructura vial se genera cuando esta no recibe ningún mantenimiento, ya sea preventivo o rutinario. En el caso de esta carretera, al encontrarse en una zona suburbana y rural, según el plano de clasificación del suelo rural del municipio de Villavicencio. Es importante, siendo una vía alterna, para la comunicación con el municipio de Restrepo. Cuando se realizan mantenimientos en el nuevo puente sobre el río Guatiquía, se utiliza la vía antigua, descongestionando el gran flujo vehicular que tiene esta vía nacional. Pero, al encontrarse en un mal estado, se vuelve imposible el tránsito por esta carretera.

El tramo de vía a diagnosticar presenta lesiones en el pavimento, representando un riesgo para los usuarios que transitan por esta vía. El peligro que existe en esta carretera es significativo, ya que en este tramo se pueden contemplar abismos al costado de la vía y con alturas mayores a diez metros. En el sector de Quebrada Honda se presenta mayor incidencia de accidentalidad, puesto que los derrumbes son comunes y los daños en la carpeta asfáltica existen en gran parte de ella. El deterioro que se presenta en la zona de estudio se ve relacionado también con el tiempo que lleva la carretera en servicio y el escaso mantenimiento que se ha realizado a esta.

En temporada de lluvias son muy frecuentes los deslizamientos que se generan en este tramo exactamente, el cierre temporal de la carretera es obligatorio, para no exponer la vida de los conductores y de las personas que transitan por este sector.

1.2 Finalidad

Realizando el diagnóstico de la vía, se podrá determinar los tipos de lesiones que se encuentran en la estructura del pavimento, con estas fallas, se buscaría una alternativa de mejoramiento, analizando proyectos de rehabilitación de vías en el municipio de Villavicencio, o proyectos de mantenimiento de vías. Con el fin de establecer que metodología utilizan para elaborar estos tipos de obra y mediante los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio, se establecerá una estructural del pavimento flexible para este tramo de vía.

1.2.1.Objetivo General

Realizar un diagnóstico de la vía antigua que comunica a los municipios de Villavicencio y Restrepo, sector Ranchón del Maporal y estación de servicio Cimarrón. Observando los tipos de lesiones que se encuentran en la carpeta asfáltica, estableciendo el estado de servicio de la vía actualmente y el desarrollo de una propuesta de la estructura del pavimento para este tramo.

1.2.2.Objetivo Específicos

- Realizar diagnóstico del estado actual de la vía (basado en levantamiento topográfico del tramo de estudio, levantamiento de lesiones en la carpeta asfáltica y estructura del pavimento, análisis de tránsito y seguridad vial).
- Establecer la metodología de la intervención a realizar desde el punto de vista del diseño geométrico de la vía, estructura del pavimento, tránsito y seguridad vial.
- Proponer la estructura del pavimento asfáltico de la vía, a partir de los parámetros de diseño establecidos con base en la metodología INVIAS.

1.3 Aportes del Trabajo

Los aportes que se podrán recibir de este trabajo se establecen en la tabla 1.

Tabla 1 Impactos generados, tras el desarrollo del proyecto

Aspecto	Impacto	Plazo
Académico	Utilización en posibles estudios futuros que se vayan a realizar a lo largo de esta vía, pudiendo ser una guía para otros proyectos similares en esta zona.	Corto
Social	Los habitantes que están en la zona de mayor riesgo, sector Quebrada Honda, tendrán conocimiento del gran riesgo que tiene al habitar en este lugar y podrán tomar una decisión temprana, antes de un accidente.	Corto
Económico	Disminución de gastos en cuanto a bacheos en la vía. Después del tiempo solo serán mantenimientos rutinarios para este tramo, evitando obras de rehabilitación y daños en la estructural del pavimento.	Mediano
Ordenamiento Territorial	Reorganización de las familias que se encuentran en zonas de alto riesgo, sin medidas de precaución, en caso de una emergencia, teniendo un déficit de salubridad y seguridad en sus viviendas.	Largo plazo

Fuente: Elaboración propia

1.4 Organización del Documento

En el capítulo 1, presenta las características principales del proyecto, sus objetivos, alcance, problema entre otros, con el fin de definir lo que se quiere realizar con la investigación.

El siguiente capítulo, es toda la fundamentación, en que se va a basar el proyecto, que temas estarán involucrados en el desarrollo del mismo y el estudio legal que se realiza, que normas se ven adjuntas con el proyecto.

El capítulo 3, presenta la metodología del desarrollo del proyecto, como se obtuvo información, como se realizó el trabajo muy detalladamente, mostrando algunos resultados y pasos que se realizaron a lo largo de la investigación. Para el capítulo 4, es un análisis de los resultados que se obtuvieron, se detalla aún más y se muestran resultados que se encontraron y obtuvieron a lo largo del desarrollo del mismo. Por último, se realizan las conclusiones, verificando el cumplimiento de los objetivos fijado en el primer capítulo e inicios de la investigación.

Capítulo 2.FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA Y CIENTÍFICA

En los proyectos de ingeniería, es de gran importancia tener un conocimiento previo de la obra que se quiere desarrollar, para tener un diseño preliminar de ella, en el caso de obras viales, se debe tener inicialmente, un conocimiento de las propiedades de los materiales que se van a emplear en el proceso constructivo de la estructura del pavimento.

Las etapas de un proyecto vial, van acorde con las capas que conforman la estructura de un pavimento. La etapa preliminar, etapa en proceso de construcción y pavimento terminado.

La etapa preliminar, es todo el conocimiento de las características y resistencias o capacidades del suelo, en donde se va a llevar el desarrollo de la estructural de pavimento, posteriormente que resista los esfuerzos que se generan tras el paso del flujo vehicular. En el caso de no tener una buena capacidad portante, se deben analizar y llevar a cabo opciones de mejoramientos en el terreno, hasta tener una óptima resistencia. Estos mejoramientos se realizan sobre el terreno natural, el cual es que va a soportar todos los esfuerzos generados por el transito previsto.

Para determinar las propiedades del suelo y capacidad portante del suelo, se deben realizar las siguientes pruebas.

Granulometría por tamizado para suelos

Este ensayo consiste en la clasificación del terreno natural para compararlo con la clasificación de materiales de suelos, de acuerdo con las normas ASTM D 422 / AASHTO T 88. [1]

Límites de Atterberg

Estos ensayos junto con la granulometría por tamizado se requieren para la clasificación del suelo, en este caso su consistencia con respecto al contenido de humedad. A estos contenidos de humedad en los puntos de transición de un estado al otro son los denominados límites de Atterberg, de acuerdo con las normas ASTM D 4318/ AASTHO T 89. [1] :

- Límite líquido: el suelo pasa de un estado semilíquido a un estado plástico y es posible moldearse.
- Límite plástico: el suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido y se produce el rompimiento.
- Límite de retracción o contracción: estado en que el suelo pasa de un estado semisólido a un estado sólido y deja de contraerse al perder humedad, según ASTM D 427/ AASHTO T 92.

Relación de humedad y densidad (Proctor Estándar y/o Proctor Modificado)

Mediante esta prueba se puede determinar la compactación o densidad máxima de un suelo o agregado en relación con su contenido de humedad. Existen dos tipos de ensayo Proctor normalizados: Ensayo Proctor Estándar, de acuerdo con las normas ASTM D 698 / AASTHO T 99, método C y el Ensayo Proctor Modificado, de acuerdo con las normas ASTM D 1557 / AASTHO T 180, método D. La diferencia entre ambos ensayos radica en la distinta energía utilizada, debido al mayor peso del pisón y mayor altura de caída en el Proctor Modificado. [1]

CBR en laboratorio

Determina la capacidad soportante del suelo (Relación de Soporte de California, por sus siglas en Ingles), de acuerdo con las normas ASTM D 1883 / AASHTO T 193, en el cual se mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo (subrasante), sub base y/o base granular de un pavimento, bajo condiciones controladas de humedad y densidad. [1]

2.1. Marco Teórico

Cuando se habla de un proyecto de mejoramiento vial, lo que se plantea es la modificación de la geometría y dimensiones de la vía actual, ya sea con el fin de mejorar su índice de serviciabilidad (prestar un mejor servicio a los usuarios) o para satisfacer el flujo vehicular presente o futuro, según lo estudiado. Los proyectos de mejoramiento vial, deben comprender tres trabajos esenciales, los cuales son: ampliación, rectificación y pavimentación.

Diseño geométrico

En todo proyecto de infraestructura vial de una carretera, el estudio más importante es el diseño geométrico ya que a partir de éste se “establece su configuración geométrica tridimensional con el propósito que la vía sea funcional, segura, cómoda, estética, económica y compatible con el medio ambiente. [2].

Para la consideración de los requisitos del diseño geométrico de una carretera, se hace necesario tener en cuenta la determinación de factores externos o internos.

Entre los factores externos se pueden relacionar aspectos propios del lugar del trazado de la carretera, como lo son la topografía, la geología, la geotécnica, la climatología e hidrología, las características del tránsito actual y futuro, lo planes de desarrollo de la zonas y los parámetros socioeconómicos. [2]

Los factores internos son los que tienen que ver con las características propias del diseño de la carretera como: la velocidad, efectos operacionales de la geometría especialmente los que estén vinculados con la seguridad y los relacionados con la estética y armonía de la solución.

Infraestructura

La infraestructura vial es el elemento principal para movilización de todo el sistema de transporte terrestre. “Se puede definir como las instalaciones, servicios y medios básicos que son necesarios para el funcionamiento del transporte por autopistas, carreteras y calles. En la infraestructura vial se debe considerar el uso de los terrenos y la planificación de la red, la (re)construcción y diseño de secciones e intersecciones de carreteras, la señalización vertical y horizontal y el mantenimiento [2].

Para las consideraciones de un diseño de carretera seguro, se contempla el Manual de Diseño Geométrico y el Manual de Señalización.

Se puede considerar dos requisitos fundamentales para un diseño seguro:

- Las características de diseño han de ser coherentes con la función de la carretera y los requisitos de comportamiento (por ejemplo la velocidad).

- Las características de diseño han de ser uniformes a lo largo de un tramo de carretera concreto

Método de diseño

Este procedimiento es de amplia aceptación para el diseño de pavimentos flexibles y se presenta en la guía AASTHO, se publicó por primera vez en 1972 y existen revisiones hasta 1993. La información de pruebas fue incluida en el desarrollo del método fue recolectada en el ensayo vial AASTHO de 1958 a 1960. El Método no ha sido convertido a unidades del sistema internacional. [3]

El ensayo vial AASTHO se llevó acabo en Ottawa, Illinois, a unos 128 Km de Chicago. Tanto en el clima como en el suelo son típicos de una gran parte de los Estados Unidos. Los ensayos sobre pavimentos se hicieron sobre seis secciones separadas dobles, con pistas de doble vía en forma de dos tramos rectos paralelos con secciones curvas para retorno. [3]

La guía conserva los algoritmos originales del Ensayo Vial AASTHO correspondientes a un grupo reducido de materiales, un solo tipo de subrasante, transito homogéneo y el medio ambiente del sitio del ensayo. Debido a este panorama limitado se han realizado investigaciones para ampliar la aplicación del método. Este método de diseño es aplicable para vías con transito superior a 0.05×10^6 ejes equivalentes de 8.2 toneladas y la ecuación utilizada para el diseño de pavimentos flexibles, derivada de la información obtenida empíricamente en la AASHTO ROAD TEST. [3]

El SN es un número abstracto, que expresa la resistencia estructural de un pavimento requerido, para una combinación dada de soporte del suelo (M_R), del tránsito total (W_{18}), del índice de serviciabilidad terminal, y de las condiciones ambientales. Una vez terminado el número estructural, se busca un conjunto de espesores que convenientemente combinado proporcionen la capacidad portante correspondiente a ese número estructural (SN), calculado por la formula ya descrita.

Sin embargo, en el manual de diseño de la AASHTO se encuentran los espesores mínimos de carpeta asfáltica y base granular relacionados con el número de ejes equivalentes.

Seguridad vial

Los accidentes en las vías tienen que ver con factores como el usuario, el vehículo y la infraestructura. Cuando se realiza un proyecto vial, cada uno de estos factores debe estar involucrado en las fases de planificación, diseño, construcción e implementación para aumentar la seguridad y minimizar el riesgo de accidentes.

Por lo anterior, se hace necesario supervisar cada una de las etapas para evitar el riesgo de accidentes. Cuando la carretera se encuentra en operación, es indispensable contar con una estadística de accidentalidad para identificar puntos que presenten un riesgo elevado de accidente, y así determinar el problema e implementar mecanismos para mejorar la seguridad. [2]



Imagen 2 Riesgo de precipicio en el sector 2, no hay barandas de seguridad y no se cuenta con señalización en la zona.

En gran parte del tramo de estudio seleccionado, existe gran riesgo de accidentalidad por falta de elementos de seguridad vial. No solo hay riesgo para los que transitan por esta vía, sino también para las personas que habitan en este sector en la parte inferior de la montaña.

Conceptos de seguridad vial

Los elementos que contribuyen, en forma individual o en conjunto a la ocurrencia de accidentes de tránsito son: el factor humano, el vehículo, y la vía y el entorno. [2]

Según estudios, se ha demostrado que los factores mencionados, estadísticamente representan los siguientes porcentajes:

- Factor humano (implicado en alrededor del 94% de los accidentes)
- Factor vehículo (implicado en alrededor del 8% de los accidentes)
- Factor vía y el entorno (implicado en el 28% de los accidentes)

2.2. Marco Legal

Las leyes y normas que están relacionadas con la infraestructura vial y seguridad vial a nivel nacional, que se deben tener en cuenta para este proyecto son las siguientes.

Ley 1228 de 2008.

Determina las fajas mínimas de retiro obligatorio o áreas de exclusión, para las carreteras del sistema vial nacional. Señala que los Concejos Distritales y Municipales podrán autorizar a los alcaldes la compensación parcial o total de los pagos de las indemnizaciones que se deban hacer por las franjas afectadas con cargo y de manera proporcional a impuesto predial que recaiga sobre el predio del cual se reservó la franja, de igual forma establece los eventos en que no procede indemnización de ningún tipo por obras nuevas o mejoras que hayan sido levantadas o hechas en las fajas o zonas reservadas a que se refiere la presente ley con posterioridad a su promulgación. [4]

Decreto 1389 de 2009.

Dicta medidas especiales sobre fajas de retiro en las carreteras del Sistema Vial Nacional, de conformidad con la Ley 1228 de 2008. Precisa que sin perjuicio de lo previsto en la normatividad vigente para el otorgamiento de licencias ambientales, de intervención y ocupación del espacio público y demás permisos y autorizaciones por parte de las autoridades

correspondientes, la entidad pública que tenga a cargo la vía dentro de la zona de exclusión, deberá, para efectos de otorgar permisos para la construcción de accesos, instalación de tuberías, redes de servicios públicos, canalizaciones, ductos, obras destinadas a seguridad vial, traslado de postes, transporte de hidrocarburos o cruces de redes eléctricas de alta, media o baja tensión, establecer los requisitos que debe cumplir el interesado en el trámite. [5]

Ley 1702 de 2013.

Mediante la Ley 1702 de 2013 el congreso de Colombia creó la Agencia Nacional de Seguridad Vial y Unidad Administrativa Especial (ANSV), entidad descentralizada, del orden nacional, cuya misión es prevenir y reducir los accidentes de tránsito, coordinar los organismos y entidades públicas y privadas comprometidas con la seguridad e implementa el plan de acción de la seguridad vial del Gobierno. [6]

Ley 1503 de 2011.

La cual tiene por objeto definir lineamientos sobre “(...) formación de hábitos, comportamientos y conductas seguros en la vía y en consecuencia, la formación de criterios autónomos, solidarios y prudentes para la toma de decisiones en situaciones de desplazamiento o de uso de la vía pública” y en la cual define la importancia de la seguridad vial. [7]

Ley 769 de 2002.

Mediante el cual se expide el Código Nacional de Tránsito tiene como objetivo: “(...) la seguridad de los usuarios, calidad, oportunidad, cubrimiento, libertad de acceso, plena identificación, libre circulación, educación y descentralización. [8]

Código nacional de tránsito.

En sus artículos 106 y 107 establece los límites de velocidad por el territorio nacional:

En 60 kilómetros por hora la velocidad máxima en vías urbanas, excepto cuando las autoridades competentes por medio de señales indiquen velocidades distintas. En zonas

rurales fija la velocidad máxima permitida en 80 Kilómetros por hora, aunque en los trayectos de las autopistas y vías arterias en que las especificaciones de diseño y las condiciones así lo permitan, las autoridades podrán autorizar velocidades máximas hasta de 100 kilómetros por hora por medio de señales adecuadas. [9]

Manual de señalización vial de 2004.

En su capítulo introductorio establece: “La decisión de utilizar un dispositivo en particular, en una localización determinada, debe basarse en un estudio de ingeniería identificado como proyecto de señalización o de semaforización, según sea el caso, en donde tiene relevante importancia el juicio del ingeniero que lo elabora.

Manual de Diseño Geométrico de Carreteras

“pretende sintetizar de manera coherente los criterios modernos para el diseño geométrico de carreteras, estableciendo parámetros para garantizar la consistencia y conjugación armoniosa de todos sus elementos unificando los procedimientos y documentación requeridos para la elaboración del proyecto, según sea su tipo y grado de detalle.

Plan Nacional de desarrollo “todos por un nuevo país” (Ley 1753 de 2015)

Se relaciona con cada una de las alternativas debido a que es una prioridad para el gobierno nacional de desarrollo estratégica cuyo objeto es proveer la infraestructura y servicios de logística y transporte para la integración territorial.

Plan departamental de desarrollo (ordenanza 902 de 2016)

Por el cual se adopta el plan de desarrollo económico y social del departamento del Meta, 2016 – 2019 “El Meta, tierra de oportunidades, inclusión – reconciliación – equidad “, instaurándose como prioridad la generación de infraestructura para las oportunidades.

Plan de desarrollo municipal de Villavicencio (acuerdo 293 de 2016)

“UNIDOS PODEMOS” instaurando como programa principal unidos podemos con la

infraestructura vial, subprograma, construcción, rehabilitación y mantenimiento de la malla vial.

Plan de ordenamiento territorial “POT”; Municipio de Villavicencio aprobado mediante acuerdo municipal 287 de 2015

Normatividad INVIAS: especificaciones técnicas del año 2012

Ley sobre la expedición de licencias ambientales (ley 2150 de 1995): define los requisitos para obtener la licencia ambiental para el desarrollo de construcciones.

2.3. Estado del Arte

La ciudad de Villavicencio, requiere de la construcción de nuevas vías para el mejoramiento de la movilidad, además se tiene la proyección de construcción de dobles calzadas, como es la de la construcción de la doble calzada vía Acacias, desde la entrada del barrio Ciudad porfía, al parque fundadores, la doble calzada vía puerto López, desde la séptima brigada hasta la vereda Apiay, la construcción de viaducto desde caño parrado hasta el túnel anillo vial, entre otras, las cuales en su momento de construcción, se deben de buscar alternativas de desplazamiento de los habitantes que vivan en esos sectores afectados por estas construcciones. Por tal razón se deben realizar estudios y diseños de construcción de nuevas vías, para realizar una planeación y obtener costos reales sobre estas obras a realizar, las cuales generan mayor impacto. [10]

Generalmente hay problemas como las malas condiciones de la movilidad en el área urbana. Esto afecta los tiempos de viaje de muchos usuarios, los costos de transporte y la operación de los vehículos. También afecta el paisaje urbano de los municipios. Por eso las causas seleccionadas como las más probables son las vías en mal estado, intransitables o con restricciones de tránsito y la ausencia de mantenimiento vial. En cuanto a las vías en mal estado, se considera que existe deterioro en la superficie de rodadura. También construcciones sin consideraciones técnicas o que circulan vehículos que exceden las cargas permitidas. También malo drenajes de aguas lluvias. Así mismo, deficiente mantenimiento periódico o rutinario.

Es necesario continuar realizando la construcción de vías, mejorar la movilidad y calidad de

vida de los habitantes y visitantes del Municipio, con mayor eficiencia y efectividad. La no realización de estos, ocasionaría una mala planeación y proyección, perjudicando a los habitantes del municipio de Villavicencio.

En el marco de crecimiento y aumento del parque automotor de Villavicencio, se ha visto un creciente problema en la movilidad en el municipio de Villavicencio, las malas condiciones de movilidad, el aumento de población hace que el problema vaya en aumento, además de esto se suman los nuevos asentamientos urbanos que saturan las vías existentes, siendo una imperiosa necesidad del municipio de Villavicencio ampliar su malla vial con el fin de mejorar la movilidad de la población local y foránea. Afectando los tiempos de viaje de los usuarios, los costos de transporte y la operación de los vehículos. Llegando incluso a la afectación del paisaje urbano.

El tramo de vía se encuentra ubicado en el Municipio de Villavicencio. Capital del departamento del Meta. Villavicencio es una ciudad que está situada en el Piedemonte oriental de la Cordillera Oriental, al occidente del departamento del Meta, en la margen izquierda del río Guatiquía. Su clima es cálido y muy húmedo, con temperaturas medias anuales de 27 °C.

La distancia que existe entre el municipio de Restrepo y Villavicencio es de 16 km.

El tramo seleccionado hace parte de la antigua vía que comunica aún a estos dos municipios.

La toponimia que se establece a esta carretera en un punto inicial es el Restaurante Ranchón del Maporal, con una latitud de 4° 9'59.44"N y una longitud de 73°38'29.21"O.

Para el punto final, la toponimia que se establece es la estación de servicio cimarrón. Este punto tiene una latitud de 4°10'20.95"N y una longitud de 73°38'35.11"O.

En una vista superior del tramo de vía, estableciendo el norte de ella. El río Guatiquía se encuentra en la margen derecha de la vía, en sentido Villavicencio- Restrepo, la carretera se asienta sobre la terraza de la margen derecha del río.

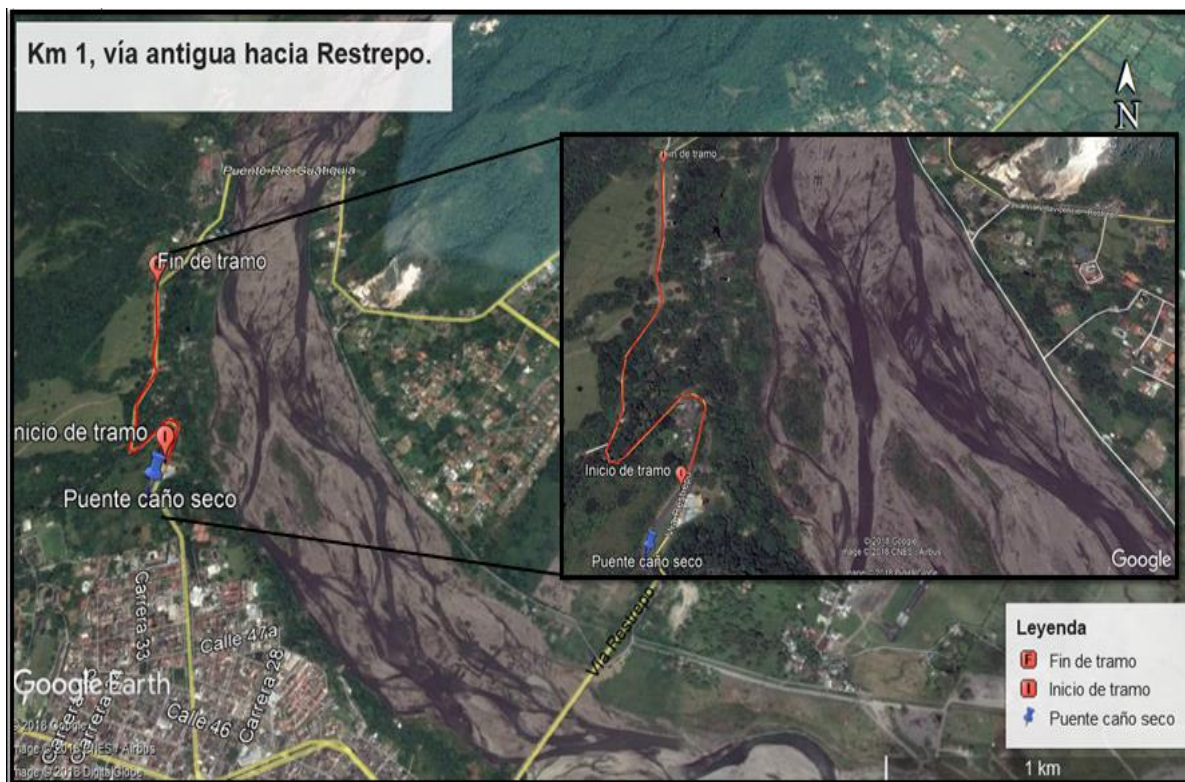


Imagen 3 Antigua vía hacia el municipio de Restrepo. En recuadro a la derecha la zona de estudio ampliada, indicando el inicio y el fin del tramo de carretera analizado. Se destaca aquí el Puente caño seco.

Es importante destacar, que esta vía ha sido la primera utilizada para la comunicación entre estos dos municipios (Villavicencio-Restrepo). En la actualidad, con la construcción del puente Humboldt hace más de veinte años (Nuevo puente sobre el río Guatiquía), el flujo vehicular ha disminuido por el sector de la vía antigua a Restrepo, pero sigue siendo utilizada por el transporte público, volquetas y otros vehículos. Sin embargo, esta es una vía alterna para la comunicación con los municipios que quedan hacia el norte de Villavicencio. Es de gran importancia realizar un diagnóstico del tramo escogido de la vía y así definir si es necesario un mejoramiento de esta.

El riesgo en una vía siempre va a estar presente, por esto es necesario implementar criterios de seguridad vial para mitigar este riesgo de accidentalidad en ciertos tramos de carretera. Lo que se quiere en el sector de Quebrada Honda, es reducir los peligros que se están generando

en la vía, ya sea por las grandes fallas que se están generando en el pavimento, las curvas con poca distancia de visibilidad, los precipicios que se presentan a lo largo del trayecto de vía y por los constantes derrumbes que se presentan en la zona en temporada de lluvias.

2.4. Conclusión del Capítulo

Con el siguiente proyecto se pretende realizar un diagnóstico del km 1 de la vía antigua al municipio de Restrepo-Meta, en el sector de Ranchón del Maporal y la estación de servicio Cimarrón, Se necesita evaluar el estado actual de la estructura del pavimento de esta vía y por consiguiente realizar un nuevo diseño. Llevando a cabo diferentes estudios para obtener los parámetros necesarios para este.

El mejoramiento vial que se pretende realizar, tiene como fin, brindar seguridad a los usuarios que utilizan aún esta vía. Como lo son: el transporte público de personas, las volquetas que transportan material del río Guatiquía y las personas que viven en las veredas aledañas a esta carretera. Muchas de estas personas que utilizan esta vía, son campesinos que llegan de las veredas: Quebrada Honda, Lourdes, Santa Helena, Divina Providencia, San José, Puente Abadía, Santa Teresa, Santa María Baja, entre otras.

Las obras de drenaje se llevarán a cabo para este mejoramiento, controlando así el agua que escurre de la montaña y que está presente en la vía siempre. Los criterios de seguridad vial se contemplarán en el tramo de Quebrada Honda, ya que, en este sector, existen precipicios de más de 50 metros de altura y curvas consecutivas con poca distancia de visibilidad.

Capítulo 3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Se realizó un registro fotográfico para observar el estado de la vía, para el proyecto se dividió el tramo en tres sectores, siendo el primero de una longitud de 300 metros, el segundo de 400 m y el último de 300 m.

Se divide el tramo en 3 partes, con el fin de analizar el más afectado por el deterioro de la carpeta asfáltica. Se recopilará información de los proyectos de mantenimiento, construcción y rehabilitación de vías, existentes en el banco de proyectos de la alcaldía de Villavicencio. Con el fin de obtener información de los materiales que se utilizan en Villavicencio para el bacheo o sellamiento de las grietas o baches que se hacen en la capa asfáltica del pavimento. Se realizará un segundo registro fotográfico, para observar la vía con un bacheo en las zonas más afectadas y la comparación del antes y después. Por último, se observará el tiempo que tarde el bacheo que se realizó y cuál será su deterioro en el transcurso del año.

Se podrá establecer u optar por una nueva estructura del pavimento, mediante otros apiques realizados en la zona de estudio, dando cada uno de los espesores necesarios para satisfacer la cantidad de ejes equivalentes que transitan por esta vía.

Para elaborar el estudio que se realizó en la construcción del puente caño seco, se recopila Información tomada de campo, que consiste en la ejecución de Apiques localizados en la vía con la respectiva toma de muestras y elaboración de ensayos de clasificación de los materiales existentes y determinación de la capacidad portante del material de subrasante; y la información sobre tránsito esperando durante la etapa de operación de los accesos.



Imagen 4 Deterioro de la carpeta asfáltica por el tipo de falla, “piel de cocodrilo”, con un nivel de afectación alto. Se puede observar la formación de un bache en la zona central y cantidad de agua contenida en él. Sector 2.

En gran parte de la vía se puede observar este tipo de falla en el pavimento, en los tres sectores establecidos anteriormente, se puede mirar en diferentes estados, ya sea; bajo, medio o alto, el estado de daño.

3.1. Criterios de Diseño

Se lleva a cabo una amplia recopilación de proyectos de mantenimiento, construcción, mejoramiento de vías en el municipio de Villavicencio, con el fin de definir que metodología utilizar y que información se puede utilizar para la elaboración del proyecto, en relación a los proyectos que se hayan realizado en la ciudad y cerca de la zona de estudio.

La carretera que se analiza y se relaciona con la zona de estudio, es de aproximadamente 362 m de longitud, se desarrolla sobre un terreno ondulado cuya subrasante se caracteriza por la presencia de grava bien gradada fina y arena, con trazas de arcilla y limo de color café claro,

su fracción fina presenta un comportamiento de plasticidad media y de baja compresibilidad. El acceso a la vía en el sector caño seco se encuentra localizada a 467 msnm, tiene como límites climáticos una temperatura media de 27 °C; la precipitación promedio es de 4085 mm. [11]

Para todo diseño de pavimentos, es necesario determinar las condiciones del subsuelo, sobre el cual se va a apoyar la estructura del pavimento, para el caso se han suministrado los resultados de clasificación del material de subrasante y los valores de capacidad de soporte representados en los ensayos de CBR. Para determinar los parámetros de diseño de la estructura del pavimento, se realizaron 4 apiques, de los cuales se tomó muestras para realizar en laboratorio los respectivos ensayos de clasificación y con lo cual se determinó lo siguiente: En la primera parte, se muestra el resultado obtenido en cuanto a los límites de consistencia y la granulometría de cada uno de los sondeos, para la segunda parte, está la clasificación de la muestra, Proctor modificado, el CBR y la descripción de cada una de las muestras obtenidas y analizadas en laboratorio. Tabla (2 y 3)

Los estudios de tránsito y criterios necesarios para el desarrollo de la estructura del pavimento, hacen parte de la información necesaria para el cálculo y diseño del mismo. Para llevar a cabo el diseño del pavimento, se tuvo como guía el manual de medio y altos volúmenes de INVIAS.

Tabla 2. Resumen de ensayos parte 1

Apique o sondeo	LL %	LP %	IP %	GRANULOMETRÍA % QUE PASA				
				3/4"	No 4	No 10	No 40	No 200
1	39	24	15	42.6	29.9	24.1	7.6	1.4
2	44	27	17	77.2	44.6	35.7	20.4	5.9
3	38	24	13	89.2	40.8	23.9	7.1	0.9
4				87	49.5	38	16.6	1.1

Fuente: Ensayos de laboratorio, construcción puente caño seco. INGEOLLANOS LTDA.

Tabla 3 Resumen de ensayos parte 2

Apique o sondeo	CLASIFICACIÓN			PROCTOR MODIFICADO		CBR	DESCRIPCIÓN
	índice de grupo	AASTHO	USC	γ máx (ton/ m3)	ω opt %		
1	0	A-2-4	GP	1.816	18.5	62.2	Grava pobremente gradada gruesa arenosa, con trazas de arcilla, material granular café claro su fracción fina presenta un comportamiento de plasticidad media y de baja compresibilidad.
2	0	A-2-4	GW-GC	2.159	9.2	19.6	Grava bien gradada fina y arena, con trazas de limo, material granular café claro su fracción fina presenta un comportamiento de plasticidad media y de baja compresibilidad
3	0	A-2-4	GW	2.138	11.1	67.5	Grava bien gradada fina y arena, con trazas de arcilla, material granular café claro su fracción fina presenta un comportamiento de plasticidad media y de baja compresibilidad
4	0	A-1-a	GW	2.365	9.8	32.6	Grava bien gradada fina y arena, con trazas de limo, material granular café claro, no liquido no plástico y de baja compresibilidad.

Fuente: Ensayos de laboratorio, construcción puente caño seco. INGEOLLANOS LTDA.

Con los estudios y ensayos realizados en esta vía, para la construcción del puente caño seco, se tuvo un apoyo y gracias a estos se pudo empezar con obtención de los parámetros de diseño necesarios para la elaboración de la propuesta de pavimento flexible en los tres sectores establecidos en la vía.

Los resultados obtenidos en la clasificación del subsuelo, muestra que gran parte de esta zona,

cuenta con gran cantidad de grava con arena. A parte de esto, se obtiene la densidad máxima y el contenido de humedad óptimo. Y un CBR, el cual se utilizará para el diseño del pavimento, a partir de este resultado se podrá realizar el cálculo para la obtención del módulo resiliente de la subrasante, ya con estos resultados se puede empezar con la obtención de los demás criterios de diseño para el cálculo de la estructura del pavimento flexible.

3.2. Descripción de etapas y tareas

Con el fin de tener una imagen actual de la vía antigua hacia Restrepo, se realiza un registro fotográfico, haciendo un diagnóstico de la misma, a partir de la visita que se realiza el 27 de julio del 2017. Se procede a buscar historia de la vía, construcciones aledañas a la zona de estudio. Se encuentran noticias, proyectos, fotos, entre otra información y se procede a realizar una recopilación de todo lo encontrado, logrando hacer una relación de lo hecho y lo que se tiene pensado realizar como un estudio previo. Todos los proyectos revisados y analizados, se han desarrollado en el municipio de Villavicencio y uno de ellos, se desarrolló en la zona afectada, teniendo como base e información, ensayos realizados para el diseño del puente caño seco.

3.3. Descripción de los productos finales

Para los estudios y diseños definitivos del puente sobre la antigua carretera vía Villavicencio – Restrepo, en el sector Caño seco. Los criterios de diseño que se tiene en cuenta son los siguientes:

Capacidad de soporte de la subrasante

Con base a los resultados del ensayo CBR obtenido en las muestras llevadas a laboratorio se establece el módulo resiliente de la subrasante; para lo cual se ha determinado tomar como CBR de diseño, el promedio de los resultados obtenido, dado que los materiales que constituyen la muestra son similares en los cuatro ensayos realizados, obteniendo como resultado CBR de diseño = 40, 45 %.

Cálculo del módulo resiliente de la subrasante

Para diseños de pavimentos se utiliza el módulo resiliente de la subrasante, para calcularlo se empleó el valor de CBR promedio obtenido anteriormente, la fórmula empleada es:

$$ErS = 130 * CBR^{0.714} \text{ (Comisión permanente del Asfalto (NCHRP- 128))}$$

El módulo resiliente es el siguiente:

$$ErS = 130 * 40.45^{0.714} = 1825 \text{ kg/cm}^2$$

Determinación del tránsito promedio

De acuerdo a los parámetros que se observaron en los estudios de tránsito, se espera un tránsito promedio diario semana de 3186 vehículos, estos resultados se pueden ver en la tabla (4).

Tabla 4 Resumen de estudio de tránsito (Restrepo- caño seco)

MOVIMIENTO	%	A	BUSETA	BUS	C2P	C2G	C3	C5	>C5
1	100	1433	0	42	11	99	10	0	0
2	100	1456	0	36	9	72	18	0	0
SUMAS		2889	0	78	20	171	28	0	0
TPD	3186								
VEHÍCULOS COMERCIALES	295								
%	90.73%	2.45%			6.82%				
					9.22%	78.34%	12.44%	0.00%	0.00%

Fuente: Estudios definitivos, construcción puente caño seco

Se calculan los ejes equivalentes de diseño a 10 años, esta condición se toma a partir de considerar que para vías en pavimento flexible, es demasiado aventurado considerar que un asfalto pueda lograr una vida útil mayor de 10 años, más aun si como en el caso de las vías regionales no existen programas continuos de monitoreo y mantenimiento. [11]

TRAMO	TPDA	EJES A 10 AÑOS	EJES A 20 AÑOS
1	3186	2.2X10 ⁶	6.01 X 10 ⁶

El tránsito de diseño es de 2.2X10⁶ ejes equivalentes de 8.2 T en el periodo de diseño.

Una vez se haya determinado el CBR y el número de ejes equivalentes de 8.2 T, se procede a calcular la estructura del pavimento, utilizando el método de INVIAS para medio y altos volúmenes de tránsito y el método AASHTO.

El método de INVIAS, está basada en intercambio de métodos ya existentes, en la experiencia y la teoría fundamental del comportamiento de las estructuras y materiales. Con base en tablas y ábacos se va avanzando en el desarrollo del diseño, hasta llegar a las cartillas de las estructuras que fueron realizadas en base al método AASHTO. [11]

La estructura del pavimento tiene la función de proteger la subrasante por medio de diferentes capas y diversos materiales, para realizar el diseño de la estructura se tiene en cuenta factores como:

- Tiempo de diseño
- Tránsito
- Materiales
- Suelos de subrasante
- Ambientales y climáticos

Tiempo de diseño

El periodo de diseño estructural y el periodo de análisis están en función de las categorías de la vía y está en función del tránsito promedio diario, para este caso, el TPD calculado es de 3186 vehículos, por lo cual la caracteriza como una categoría 2 Se adopta un periodo de diseño estructural de 10 años. Ver tablas (5 Y 6)

Tabla 5 Categoría de la vía

CATEGORÍA DE LA VÍA				
	1	2	3	Especial
Descripción	Autopistas interurbanas, caminos interurbanos principales.	Colectoras interurbanas, caminos rurales e industriales principales	Caminos rurales con tránsito mediana, caminos estratégicos.	Pavimentos especiales e innovación
Importancia	Muy importante	Importante	Poco importante	Importante a poco importante
TPD	> 5000	1.000 - 10.000	< 1.000	< 10.000

Fuente: Manual de medios y altos volúmenes de tránsito INVIAS

La vía se establece como categoría 2, ya que el tránsito promedio diario se ubica en un rango de 1.000 – 10.000. El TPD es de 3186 vehículos. Se caracteriza como una vía importante.

Tabla 6 Periodo de diseño

Categoría de la vía	Periodo de diseño (P.D.E) años	
	Rango	Recomendado
1	10-30	20
2	10-20	15
3	10-20	10
Especiales	7-20	10-15

Fuente: Manual de medios y altos volúmenes de tránsito INVIAS

Teniendo la categoría de la vía, se procede a elegir el periodo de diseño, teniendo un rango de 10 – 20 años, para la categoría 2. El INVIAS recomienda elegir un periodo de 15 años, pero para el caso de este diseño se seleccionó 10 años, ya que para un pavimento flexible considerar que un asfalto pueda lograr una vida útil mayor de 10 años es algo no seguro, aun realizando las debidas reparaciones y mantenimiento rutinarios.

Tránsito

El cálculo de los ejes de diseño se describió anteriormente, este método incluye una confiabilidad, para una corrección del tránsito. Para una confiabilidad del 90%, la desviación normal (índice Z_R) es 1.282.

$$N' = 10^{0.05Z_R} \times N$$

$$N' = 10^{0.05 \times 1.282} \times 2.2 \times 10^6 = 2.55 \times 10^6$$

Con una confiabilidad del 90%, el número de ejes equivalentes de 8.2 tn corregido es 2.55 x

10^6 , por lo tanto, esta corresponde a un nivel de tránsito T3, según la tabla de número de ejes equivalentes de 8.2 ton con confiabilidad del 90%, que estable un rango de $2-4 \times 10^6$ para el nivel de tránsito T3.

Factores climáticos y ambientales

Este régimen es templado húmedo con la temperatura media ponderada anual de $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ y precipitación media anual de 4085 mm [11]

Para establecer el tipo de región, se utiliza la tabla de clasificación por factores climáticos del manual de medio y altos volúmenes de tránsito de INVIAS

El cual estable para una región R6, un rango para TMAP ($^{\circ}\text{C}$) de $20-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ y para precipitaciones > 4000 mm, una región cálido muy húmedo.

Resistencia de diseño de la subrasante

Teniendo en cuenta los valores obtenidos anteriormente del ensayo CBR (40.45%) y el módulo resiliente de 1825 Kg/cm^2 , se establece la categoría del tipo suelo. Siendo para este caso un tipo de suelo S5. Para unos rangos de: Módulo resiliente $> 1500\text{ Kg/cm}^2$ y CBR $\Rightarrow 15\%$, estos rangos están establecidos en la tabla de clasificación por tipo de suelo y se encuentra en el manual de medio y altos volúmenes de tránsito de INVIAS.

Catálogo de estructuras

En el manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medio y altos volúmenes de tránsito del INVIAS, se emplea el método de diseño de la AASHTO 93, el cual dimensiona las estructuras en función del número de ejes equivalentes en el periodo de diseño, el número estructural, la pérdida de serviciabilidad en el tiempo y del mundo de resiliencia de la subrasante, se tiene la siguiente ecuación.

$$\text{Log}N = Z_R Z_0 + 9.36 \log(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.42 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log M_R - 8.07$$

Donde:

N = número de ejes equivalentes de 8.2 ton

Z_R = Desviación estándar normal

S_0 = Error estándar combinado de la predicción del tránsito y de la predicción del comportamiento

ΔPSI = Pérdida de serviciabilidad $(4.2 - 2.2) = 2.0$

M_R = Módulo de resiliencia de la subbase (lb/pulg²)

SN = número estructural determinado por:

$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$

Siendo:

a_i = coeficiente estructural de la capa i

D_i = Espesor de la capa (pulg)

m_i = Coeficiente de drenaje de la capa granular i .

El INVIAS considera los siguientes parámetros:

- Nivel de confiabilidad del 90%, al cual le corresponde una desviación estándar de (Z_R) de 1.282.
- Error estándar (S_0) de 0.45
- Índice inicial de servicio de 4.2 y final de 2.2
- Los coeficientes estructurales de los materiales asfálticos y granulares se adoptan a partir del manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito del INVIAS y son:

Los valores de los coeficientes estructurales se establecen en la siguiente tabla, elaborada a partir del manual de diseño de INVIAS. Tabla (7)

Tabla 7 Coeficiente estructural

TIPO DE MATERIAL	COEFICIENTE ESTRUCTURAL
Mezcla densa en caliente	0.32
Base granular BG-2	0.14
Base estabilizada con emulsión BEE-1	0.2
Base granular estabilizada con cemento BEC-2	0.14
Subbase granular SBG-1	0.12

Fuente: Estudio y diseños definitivos del puente sobre la antigua carretera vía Villavicencio - Restrepo (vía Bavaria) en el sector denominado caño seco. Tabla 4.7

Teniendo los parámetros de Tránsito T3, Región R6 y tipo de suelo S5. Se procede a establecer las estructuras del pavimento. Ver tabla (8)

Tabla 8 Alternativas de estructura de pavimento

ALTERNATIVA	ESPESOR EN (mm)		
	1	2	3
Mezcla densa en caliente	75	50	75
Base granular BG-2	300		150
Base estabilizada con emulsión BEE-1		150	
Base granular estabilizada con cemento BEC-2			
Subbase granular SBG-1	150	300	200
Total espesor	525	500	425

Fuente: Estudio y diseños definitivos del puente sobre la antigua carretera vía Villavicencio - Restrepo (vía Bavaria) en el sector denominado caño seco. Tabla 4.9

El método INVIAS propone tres alternativas de estructuras que involucran tres tecnologías distintas de trabajo. Para el caso de este diseño, se establece la estructura del pavimento a criterio y según los

resultados obtenidos del CBR de diseño y el módulo resiliente de la subrasante.

3.4. Conclusión del Capítulo

Con los ensayos de laboratorio realizados y los parámetros de diseño definidos, se realiza el procedimiento del cálculo y diseño de la estructura del pavimento flexible que se podría utilizar en la vía antigua hacia el municipio de Restrepo, sector Ranchón del Maporal.

A partir del catálogo de estructuras de pavimento se eligen dos alternativas, las cuales se les realiza la optimización a cada una de ellas y se elige la alternativa definitiva, siendo esta la alternativa número 3, con un espesor total de 425 mm. Una mezcla densa en caliente de 75 mm, Base granular estabilizada con cemento BEC-2 de 150 mm y una Subbase granular SBG-1 de 2000 mm

Capítulo 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La ciudad de Villavicencio cuenta con aproximadamente 150 kilómetros de eje primarios y 747.54 kilómetros de ejes viales secundarios, los cuales actualmente se encuentran en un 85.99% en regular a mal estado por cumplimiento en algunos casos de su vida útil. La ciudad de Villavicencio por el desarrollo que está teniendo en la actualidad, ha visto como se ha incrementado significativamente el flujo vehicular lo cual genera algunos problemas en la movilidad, incremento del deterioro de la malla vial, accidentalidad por lo que se hace necesario implementar acciones que garanticen y prolonguen la vida útil de la infraestructura vial. [12]

Villavicencio, al igual que otras ciudades del país presenta una problemática en su estructura vial, un deterioro progresivo que afecta de una manera significativa el progreso de la ciudad y por demás el buen vivir de los ciudadanos.

Según las directrices y análisis de la Secretaría de Infraestructura de Villavicencio, se hace necesario ejecutar actividad del bacheo, sobrecarpeta asfáltica, para realizar el mantenimiento y preservación de la estructura vial de la ciudad de Villavicencio.

De igual manera el municipio de Villavicencio cuenta con 263.8 kilómetros de vías rurales, las que también deben ser atendidas.

Tabla 9 Población afectada en Villavicencio

Población afectada por el problema (Municipio de Villavicencio)		
Habitantes afectados		495.227
Necesidades básicas insatisfechas		16,10%
Tasa de desempleo		13,00%
Población por edad		
Edades	Hombres	Mujeres
0-14	66.213	64.084
15-19	21.884	21.975
20-59	130.779	143.853

Tabla 9. Continuación

Mayores de 60	21.45	24.989
Población por estrato	Hombres	Mujeres
1	54.356	56.575
2	68.188	70.971
3	94.395	98.248
4	17.472	18.185
5	6.309	6.567
6	1.941	2.021

Fuente: Proyecto de mantenimiento de la infraestructura vial del municipio de Villavicencio, Meta. (2016)

El tamaño estimado del proyecto es llegar a cubrir el déficit, teniendo en cuenta que para el 2018 se proyecta tener un déficit de 7 km, conservando un óptimo mantenimiento rutinario y periódico. Mediante la reevaluación de las vías, aquellas donde el mantenimiento periódico y rutinario sea insuficiente, se realizará las obras de rehabilitación, que sean necesarias. Por lo que se proyecta como meta mínima la rehabilitación de 10 km por año. [12]

Tabla 10 Demanda, oferta y déficit de la infraestructura vial de Villavicencio

AÑO	DEMANDA(KM)	OFERTA (KM)	DÉFICIT (KM)
2012	349	70.3	278.7
2013	322	98.9	223.1
2014	291	182.9	108.1
2015	286	117.25	168.75
2016	257	94	163
2017	235	122	113
2018	213	206	7
2019	191	187	4
2020	169	150	19

Fuente: Proyecto de mantenimiento de la infraestructura vial del municipio de Villavicencio, Meta. (2016)

El presupuesto que se manejará, para el mantenimiento de la malla vial de Villavicencio, se

podrá ver la tabla (11), extraída del proyecto, Mantenimiento de la infraestructura vial del municipio de Villavicencio, Meta.

Tabla 11 Resumen presupuesto vigencia 2017 – 2020 para el mantenimiento de la infraestructura vial de Villavicencio, meta.

RESUMEN PRESUPUESTO VIGENCIA 2017 – 2020				
PROYECTO: "MANTENIMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL DE VILLAVICENCIO, META"				
Descripción	2017	2018	2019	2020
TOTAL MANTENIMIENTO MALLA VIAL	23.289.003.170	23.987.673.266	24.707.303.466	25.448.522.570
TOTAL SUMINISTROS	2.878.720.320	2.965.061.929	3.054.034.388	3.145.655.420
TOTAL APOYO LOGÍSTICO	430.720.400	443.642.010	456.951.270	470.659.810
TOTAL INTERVENTORÍA	1.741.760.900	1.794.013.727	1.847.834.139	1.903.269.163
TOTAL AÑO	28.340.204	29.190.410.932	30.066.123.263	30.968.106.963
VALOR TOTAL MANTENIMIENTO MALLA VIAL 2017-2020				118.564.845.948

Fuente: Proyecto de mantenimiento de la infraestructura vial del municipio de Villavicencio, Meta. (2016)

En la exploración del subsuelo, se obtuvieron una cantidad de muestras para realizar ensayos de laboratorio, se estableció el perfil estratigráfico de la zona de estudio. Y el nivel freático no se encontró en este caso. Para obtener estos resultados, fueron necesarios seis sondeos, que se realizaron a lo largo de los 40 metros de longitud que tendría este puente. Los sondeos que se realizaron, variaban en una profundidad entre 20 metros y 30 metros.

Las muestras que se obtuvieron en cada uno de los sondeos, se identificaron visualmente y se realizaron las pruebas de laboratorios requeridas para clasificar y determinar las propiedades In-situ. Los ensayos de laboratorio que se realizaron, fueron los siguientes:

- Humedad natural

- Granulometría por tamizado
- Pasa tamiz No. 200.
- Peso unitario
- Límites de consistencia

Para el puente, se ha considerado: Puente en curva, hecho con vigas metálicas y placa en concreto con barandas en ambos lados.

- Longitud: 40.00 m
- Calzada: 9.8 m (incluye bermas y sobreebancho)
- Andenes laterales: 1.00 m
- Bermas: 1.00 m
- Cunetas: 0.75 m
- Ancho de tablero: 11.80 m

La distancia existente entre el fin del puente caño seco, dirección hacia Restrepo y el sector 1 del proyecto de mejoramiento vial, es aproximadamente de 80 metros. Estando los sondeos realizados para los estudios y ensayos de laboratorio del puente, fuera del tramo de vía. Aun así, se analizan los resultados obtenidos en estos ensayos, con el fin de comparar los perfiles estratigráficos y observar la similitud de los suelos que se presentan en ambas zonas de estudio.

Para elaboración de las columnas estratigráficas se utilizó la escala granulométrica de Udden-Wentworth y los resultados obtenidos de los sondeos realizado en la zona de estudio.

A continuación, se mostrará cada uno de los sondeos y muestras tomadas por la empresa INGEOLLANOS LTDA, Consultoría e Ingeniería. Con su profundidad y la clasificación de los suelos encontrados al realizar los ensayos, tabla 12 a la 17.

Tabla 12 Sondeo número uno

SONDEO N° 1	MUESTRA	PRODUNDIAD (m)	CLASIFICACIÓN (AASHTO)	DESCRIPCIÓN
	1	0.5-1.5	A-2-6	Arena de grano fino
	2	2-2.50	A-4	Limo arenoso (grano fino)
	3	4-4.50	A-6	Arcilla
	4	6-6.5	A-4	Limo
	5	7.5-8	A-6	Arcilla arenosa (grano fino)
	6	9-9.5	A-4	Limo y arena (grano medio)
	7	10.5-11	A-6	Arena de grano fino y arcilla gravosa (grava fina)
	8	12-12.5		Arena de grano medio limosa con algo de grava fina.
	9	13.5-14	A-2-4	Arena de grano fino arcillosas, presencia de grava media.
	10	14-15		Gravas de arenisca y cantos rodados (tamaño máx 1/2")
	11	15-15.5	A-2-4	Arena de grano fino Limosa.
	12	16.5-17	A-2-4	Arena de grano fino arcillolimosas.
	13	18-18.5	A-2-4	Arena de grano fino arcillolimosas.
	14	19.5-20	A-6	Limo arenoso (grano fino)

Fuente: Proyecto construcción puente caño seco, resumen de ensayos de la empresa, INGEOLLANOS LTDA.

Tabla 13 Sondeo número dos

SONDEO N° 2	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACIÓN (AASHTO)	DESCRIPCIÓN
	1	0.1-0.8	A-4	Limo arenoso (grano fino)
	2	0.8-1.5	A-2-4	Arena de grano fino arcillolimosa gravosa
	3	1.5-2.0	A-4	Arena de grano fino y limo muy suelta
	4	2.5-3.0	A-2-4	Arena de grano fino.
	5	3.0-4.0	A-4	Gravas con matriz de arena y limo
	6	4.0-4.5	A-6	Arcilla arenosa (grano fino)
	7	5.5-6.0	A-4	Limo arenoso (grano fino)
	8	7.0-7.5	A-4	Limo y arena de grano fino
	9	8.5-9.0	A-4	Limo y arena de grano fino

Tabla 13 Continuación

	10	10.0-10.5	A-4	Arena de grano fino y arcilla limosa
	11	11.5-12	A-4	Limo y arena de grano fino
	12	13.0-13.5	A-6	Arcilla y arena de grano fino
	13	14.5-15	A-4	Limo arenoso (grano fino)
	14	16.0-16.5	A-4	Limo y arena de grano fino
	15	17.5-18.0	A-4	Arena de grano fino y limo
	16	20.5-21.0	A-2-4	Arena de grano fino arcillolimosa
	17	22.0-22.5	A-2-4	Arena de grano fino gravosa (grava fina)
	18	23.5-24.0	A-2-4	Arena de grano fino limosa
	19	24.5-25	A-2-4	Arena de grano fino limosa

Fuente: Proyecto construcción puente caño seco, resumen de ensayos de la empresa,
INGEOLLANOS LTDA.

Tabla 14 Sondeo número tres

SONDE N°3	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACIÓN (AASHTO)	DESCRIPCIÓN
	1	1.0-2.0	A-4	Arena de grano fino y arcilla limosa
	2	2.0-2.5	A-3	Arena pobremente gradada de grano fino
	3	3.0-3.5	A-1-a	Arena pobremente de grano medio y grava fina
	4	4.0-4.5	A-1-a	Grava pobremente gradada gruesa arenosa (grano medio)
	5	4.5-5.0		Gravas gruesas
	6	5.0-5.5	A-1-a	Grava pobremente gradada fina y arena de grano medio.
	7	5.5-6.5		Arena mal graduada
	8	6.5-7.0	A-1-a	Grava pobremente gradada limo y arena de grano medio
	9	8.0-8.5	A-3	Arena pobremente grada de grano fino
	10	9.5-10.0	A-6	Arcilla y arena de grano fino
	11	11.0-11.5	A-4	Limo y arena de grano fino
	12	13.0-13.5	A-4	Arcilla arenosa de grano fino
	13	13.5-14	A-4	Limo arenosa de grano fino
	14	15.0-15.5	A-4	Limo arenosa de grano fino

Tabla 14 Continuación

	15	16.5-17.0	A-4	Limo arenosa de grano fino
	16	18.0-18.5	A-7-5	Arena de grano fino y arcilla
	17	19.5-20	A-2-4	Arena de grano fino limosa

Fuente: Proyecto construcción puente caño seco, resumen de ensayos de la empresa, INGEOLLANOS LTDA.

Tabla 15 Sondeo número cuatro

SONDEO N° 4	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACIÓN (ASSHTO)	DESCRIPCIÓN
	1	1.0-1.5	A-1-a	Grava fina y arena de grano grueso
	2	2.0-2.5	A-2-4	Arena de grano fino con algo de limo
	3	2.5-4.0	A-1-a	Grava pobremente gradada
	4	4.0-4.5	A-1-a	Grava pobremente gradada
	5	5.5-6.0	A-2-4	Grava fina arenosa de grano grueso.
	6	6.0-7.5	A-2-4	Grava fina arenosa.
	7	7.5-8.0	A-1-b	Grava fina arenosa de grano grueso.
	8	8.0-9.5	A-1-b	Grava fina arenosa de grano grueso.
	9	9.5-10.0	A-2-4	Arena de grano fino con algo de arcilla limosa
	10	11.5-12.0	A-1-b	Grava fina y arena de grano grueso con algo de limo
	11	12.0-13.5	A-1-b	Grava fina y arena de grano grueso con algo de limo
	12	13.5-14.0	A-2-4	Arena pobremente gradada de grano grueso
	13	14.0-15.5	A-1-a	Arena de grano fino limosa
	14	15.5-16.0	A-2-4	Arena pobremente gradada de grano grueso
	15	16.0-17.5	A-1-b	Arena mal graduada
	16	17.5-18.0		Grava mal gradada
	17	18.0-19.5		Grava mal gradada
	18	19.5-20.0		Grava mal gradada

Fuente: Proyecto construcción puente caño seco, resumen de ensayos de la empresa, INGEOLLANOS LTDA.

Tabla 16 Sondeo número cinco

SONDEO N°5	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACIÓN (ASSHTO)	DESCRIPCIÓN
	1	0.07-0.4	A-1-a	Grava pobremente gradada fina arenosa (grano medio)
	2	0.5-1.0	A-1-a	Grava fina arenosa (grano grueso)
	3	1.0-1.5		Grava mal gradada
	4	1.5-3.0	A-1-a	Grava pobremente gradada fina y arena de grano grueso
	5	3.0-3.5	A-1-a	Grava pobremente gradada fina con algo de arena de grano medio
	6	4.5-5.0	A-1-a	Grava pobremente gradada
	7	5.0-6.5		Bolos grises en matriz limo arenoso
	8	6.5-7.0	A-1-b	Grava fina arenosa de grano grueso
	9	7.0-8.5		Bloques de arenisca
	10	8.5-9.0	A-1-b	Presencia de gravas medias
	11	9.0-10.5		Bloques de arenisca
	12	10.5-11.0	A-4	Arena de grano fino y arcilla
	13	11.5-12.0		Bloques de arenisca
	14	12.5-13.0	A-2-4	Arena de grano fino limosas
	15	13.0-14.0	A-1-b	Arena pobremente gradada de grano grueso.
	16	14.0-15.0	A-2-4	Arena de grano fino con algo de limo.
	17	15.0-16.5		Gravas de tamaños medios.
	18	17.0-18.5	A-3	Arena pobremente gradada de grano fino
	19	18.5-19.5		Arena mal gradadas
	20	19.5-20.0	A-2-4	Arena de grano fino limosa presencia de gravas medias.

Fuente: Proyecto construcción puente caño seco, resumen de ensayos de la empresa, INGEOLLANOS LTDA.

Tabla 17 Sondeo número seis

SONDEO N°6	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACIÓN (ASSHTO)	DESCRIPCIÓN
	1	1.5-2.0	A-4	Arcilla limosa y arena de grano fino
	2	3.0-3.5	A-1-a	Grava fina y arena de grano medio
	3	4.0-4.5	A-7-5	Arcilla arenosa de grano fino
	4	5.0-5.5	A-1-b	Arena de grano medio
	5	6.0-7.0	A-2-4	
	6	8.0-8.5	A-6	Arena de grano fino
	7	9.5-10.0	A-4	
	8	11.0-11.5	A-4	Arena de grano fino y arcilla
	9	12.5-14.0	A-2-4	Arena de grano medio y limosa gravosa
	10	14.0-14.5	A-1-b	Arena de grano medio y grava fina
	11	15.5-16.0	A-4	Arcilla y arena de grano fino
	12	17.0-17.5	A-4	Arena de grano fino y limo
	13	19.0-20.5		Pequeños bloques de arenisca con matriz arcillosa
	14	20.5-22.0		
	15	22.0-22.5	A-4	Arena de grano fino
	16	24.0-24.5	A-2-4	
	17	24.5-26.0		
	18	26.0-27.5	A-2-4	
	19	28.0-28.5		
	20	29.5-30.0	A-4	

Fuente: Proyecto construcción puente caño seco, resumen de ensayos de la empresa, INGEOLLANOS LTDA.

Con estos ensayos se pudo determinar los perfiles estratigráficos, definiendo los tipos de suelos que se encuentran, se encontraron los límites de consistencia y la resistencia al penetrómetro de bolsillo.

Capítulo 5. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

5.1. Conclusiones

Se pudo determinar el estado actual de la vía con el primer registro fotográfico, determinando los tipos de lesiones que tenía el pavimento y que opciones de mantenimiento se podrían utilizar para recuperar las zonas más afectadas.

Se ha encontrado que el material de subrasante corresponde a grava bien gradada fina y arena, con trazas de limo y arcilla café claro, su fracción fina presenta un comportamiento de plasticidad media y de baja compresibilidad, clasificado según la USC como GW y según la AASHTO como A-2-4 con módulos resilientes altos que garantizan una capacidad de soporte aceptable para la estructura de pavimento, por lo cual en general se requiere una estructura pequeña para el mismo. La metodología que se utilizó fue la más adecuada para la elección de la estructura del pavimento, siendo esta metodología utilizada a nivel nacional, con base en la metodología AASHTO.

La estructura del pavimento recomendado para la vía es:

Concreto asfáltico (MDC-2)	0.075 m
Base granular (BG-2)	0.150 m
Subbase granular (SBG-1)	0.200 m

Esta estructura corresponde a un periodo de diseño de 10 años, por lo tanto, es necesario garantizar un programa de mantenimiento de la vía, prologando así la vida útil de la misma.

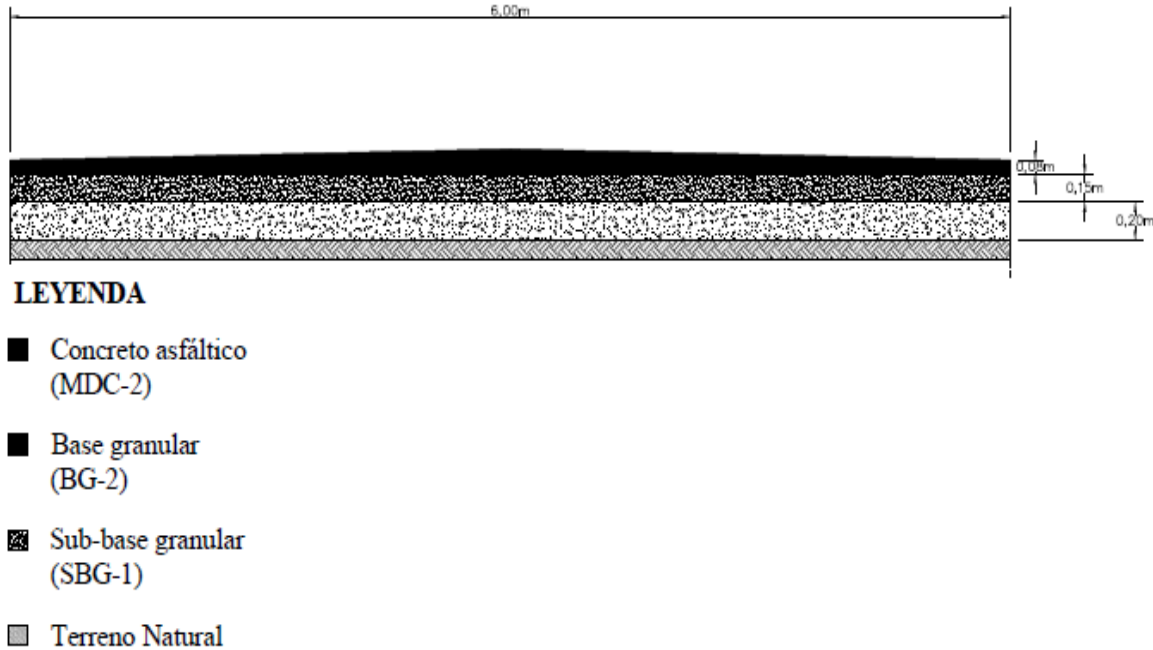


Imagen 5 Estructura del pavimento flexible propuesto, con una calzada de seis metros de longitud. La estructura del pavimento que se aplicaría a la zona de estudio es la anterior. Por otro lado, se tendría que aplicar todo lo relacionado con el diseño geométrico de vías. Complementando todo el diseño de esta carretera. Pero, para este caso, solo se trabajará la parte relacionada con pavimentos.



Imagen 6 Espesor de la carpeta asfáltica, sector 1. Medición a partir de un bache en la vía. En la imagen anterior se puede observar un espesor de una carpeta asfáltica aproximada de 7.5 a 8 cm. La estructura establecida en el diseño está muy enlazada con las medidas que se tomaron en el registro fotográfico.

5.2. Trabajos Futuros

El trabajo realizado, se contempla para solo un kilómetro de vía, desde el sector Ranchón del Maporal, hasta la estación de servicio Cimarrón. Por lo tanto, se podría realizar los mismos estudios y tomando las zonas más afectadas de esta vía y proceder a establecer su estructura de pavimento, corroborando así, con el mejoramiento de la vía antigua hacia el municipio de Restrepo, beneficiando a los habitantes que se encuentran en las veredas aledañas a esta vía y que transitan frecuentemente por esta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] I. A. U. Calderón, Guía de pruebas de laboratorio y muestreo en campo para la verificación de calidad en materiales de un pavimento asfáltico, Costa Rica, 2011.
- [2] *Ley 1503*, 2011.
- [3] I. J. J. A. OSPINA, DISEÑOS GEOMÉTRICO DE VÍAS, ajustado al manual Colombiano, MEDELLÍN., 2002.
- [4] Red nacional de carreteras, «Alcaldía de Bogotá,» 2008. [En línea]. Available: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/listados/tematica2.jsp?subtema=20003>.
- [5] *Decreto 1389*, 2009.
- [6] *Creación de la agencia nacional de seguridad vial*, 2013.
- [7] *Ley 769*, 2002.
- [9] *Código nacional de tránsito*, 2002.
- [10] A. d. Villavicencio, CONSTRUCCIÓN DE VÍAS URBANAS Y RURALES EN EL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO, META, ORINOQUIA., VILLAVICENCIO, 2016.
- [11] A. d. Villavicencio, ESTUDIO Y DEISEÑOS DEFINITIVOS DEL PUENTE SOBRE LA ANTIGUA CARRETERA VÍA VILLAVICENCIO - RESTREPO (VÍA BAVARIA) EN EL SECTOR DENOMINADO CAÑO SECO, BOGOTÁ, 2009.

- [12] A. d. Villavicencio, Mantenimiento de la infraestructura vial del municipio de Villavicencio, Meta., Villavicencio , 2016.
- [13] N. C. OSPINA, ESTUDIO DE SEGURIDAD VIAL PARA DETERMINAR LA INCIDENCIA DEL DISEÑO GEOMETRICO EN LA ACCIDENTALIDAD CARRETERA BOGOTÁ-VILLAVICENCIO A PARTIR DE LA SALIDA DEL TÚNEL DE BOQUERÓN A PUENTE QUETAME, BOGOTÁ D.C., 2014.
- [14] J. C. Grisales, Diseños geométrico de carrteras, segunda edición, Bogotá: Ecoe Ediciones., 2013.
- [15] C. Giordani y D. Leone , Pavimentos, Argentina.
- [16] L. Bañón Blázquez y J. F. Beviá García, «Sistemas de drenaje.,» de *Manual de carreteras. Volumen II: construcción y mantenimiento*, 1999 , pp. 75-77.
- [17] F. A. R. Roldan, Interviewee, *Historia de la vía antigua hacia Restrepo..* [Entrevista]. 3 Mayo 2017.
- [18] E. TIEMPO, «Guatiquía, Un puente que tiene su historia en Villavicencio (Meta).,» 25 Marzo 2009.

ANEXOS



Imagen 7 Vía antigua hacia Restrepo, sector 1. Con deterioro en la capa de rodadura e índice de lesión tipo, piel de cocodrilo en la margen izquierda y en el centro afectación de baches, nivel de seriedad medio.



Imagen 8 Afectación en la carpeta asfáltica, con una lesión tipo piel de cocodrilo en el sector 1. Con un nivel de daño medio.



Imagen 9 Afectación por huecos y abultamientos en la carpeta asfáltica en el sector 2. Se observa gran cantidad de agua que escurre de la montaña, causando un deterioro más al pavimento.



Imagen 10 Abultamientos y huecos con gran cantidad de agua escurrida de la montaña en el sector 2, riesgo de accidentalidad para motociclistas.



Imagen 11 deterioro de la carpeta asfáltica con visión de la base en concreto, esto se debe por el puente que se encuentra sobre la vía. Se observa aun la cantidad de agua sobre la capa de rodadura.



Imagen 12 Huecos en la capa de rodadura, con un nivel de seriedad medio. Sector 2



Imagen 13 Falla de la carpeta asfáltica. Huecos con un nivel de seriedad alto, se rellenó con escombros, material ajeno a la estructura del pavimento. Sector 2. Gran riesgo de accidentalidad.



Imagen 14 Falta de barandas de seguridad en curva peligroso, riesgo de precipicio. Sector 2



Imagen 15 Sector de Quebrada Honda, zona más afectada en el estudio. Grietas en el pavimento y gran cantidad de huecos a lo largo del tramo. Sector 2.



Imagen 16 Deterioro en la carpeta asfáltica en el sector 3, se encuentra una lesión tipo piel de cocodrilo, con un nivel de seriedad bajo, no se alcanza a observar parte de la base.



Imagen 17 Sector 3, estación de servicio Cimarrón, capa de rodadura de la estructura del pavimento es regular, no cuenta con deterioros tan grandes como los otros dos sectores. No se cuenta con obras de drenaje en este sector.



Imagen 18 Plano de la zona de estudio, sector 1, 2 y 3.

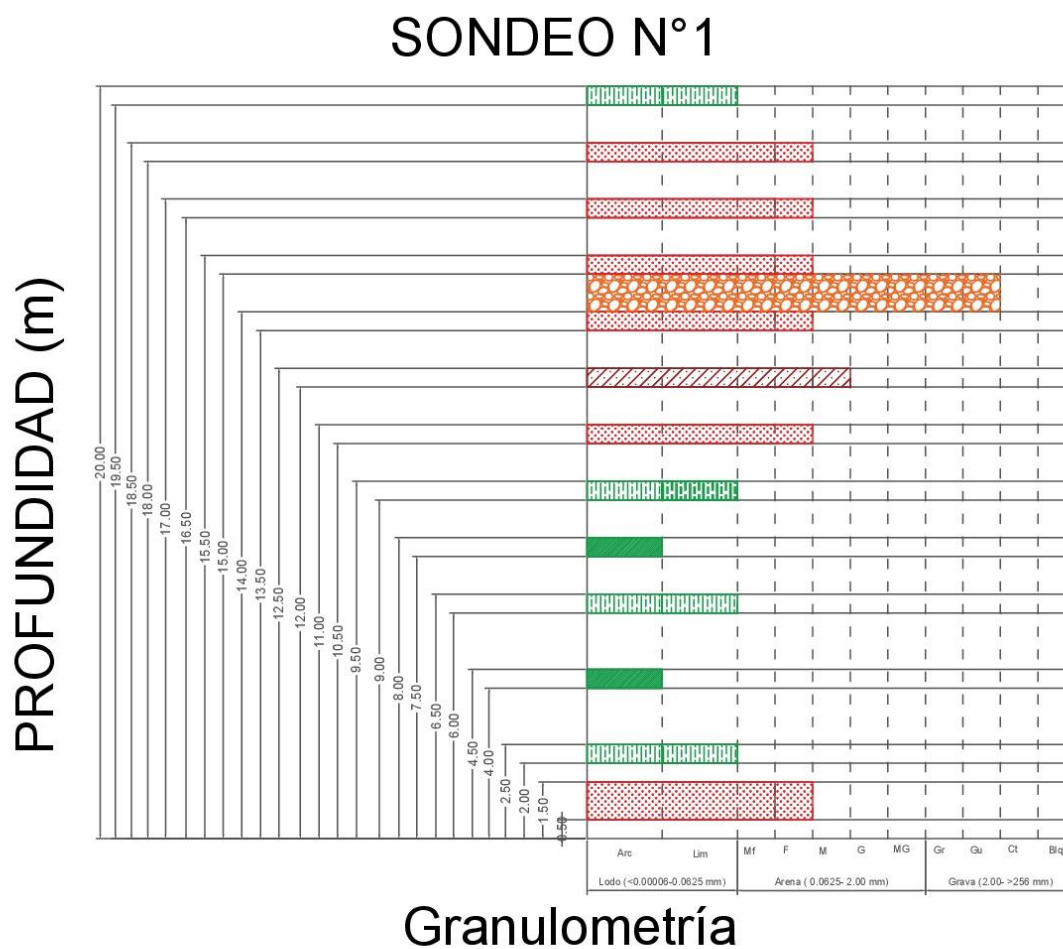


Imagen 19 Perfil estratigráfico del sondeo 1

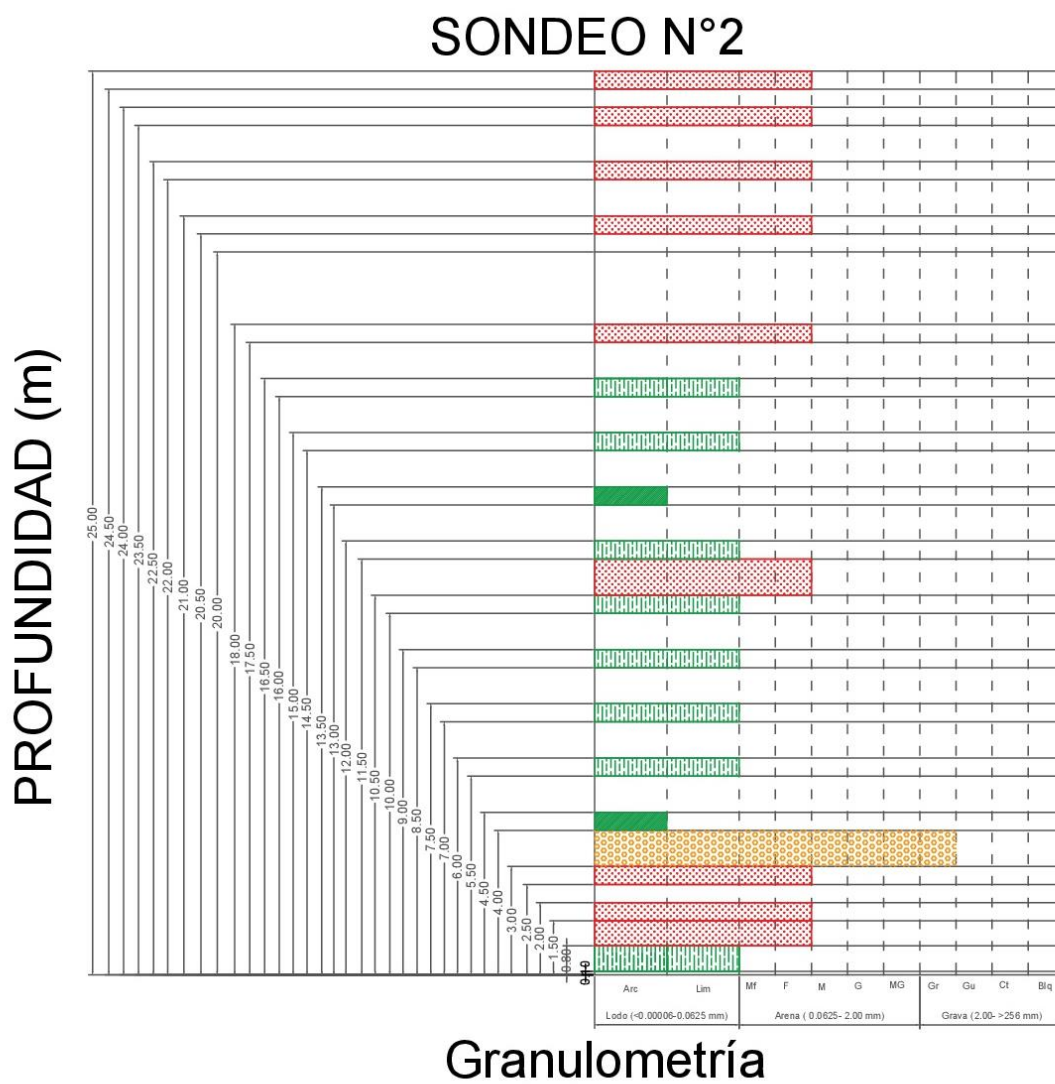


Imagen 20 Perfil estratigráfico del sondeo 2

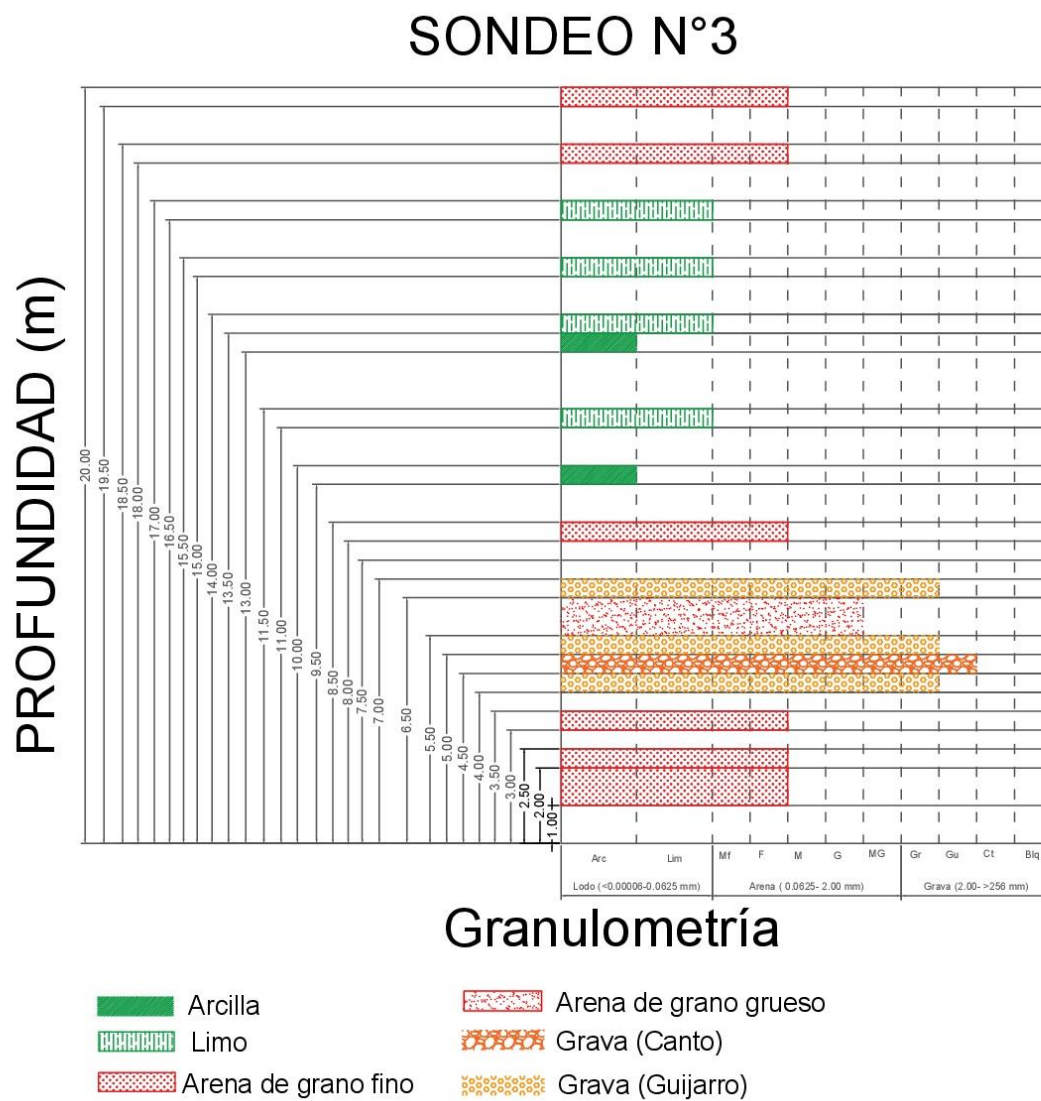


Imagen 21 Perfil estratigráfico del sondeo 3

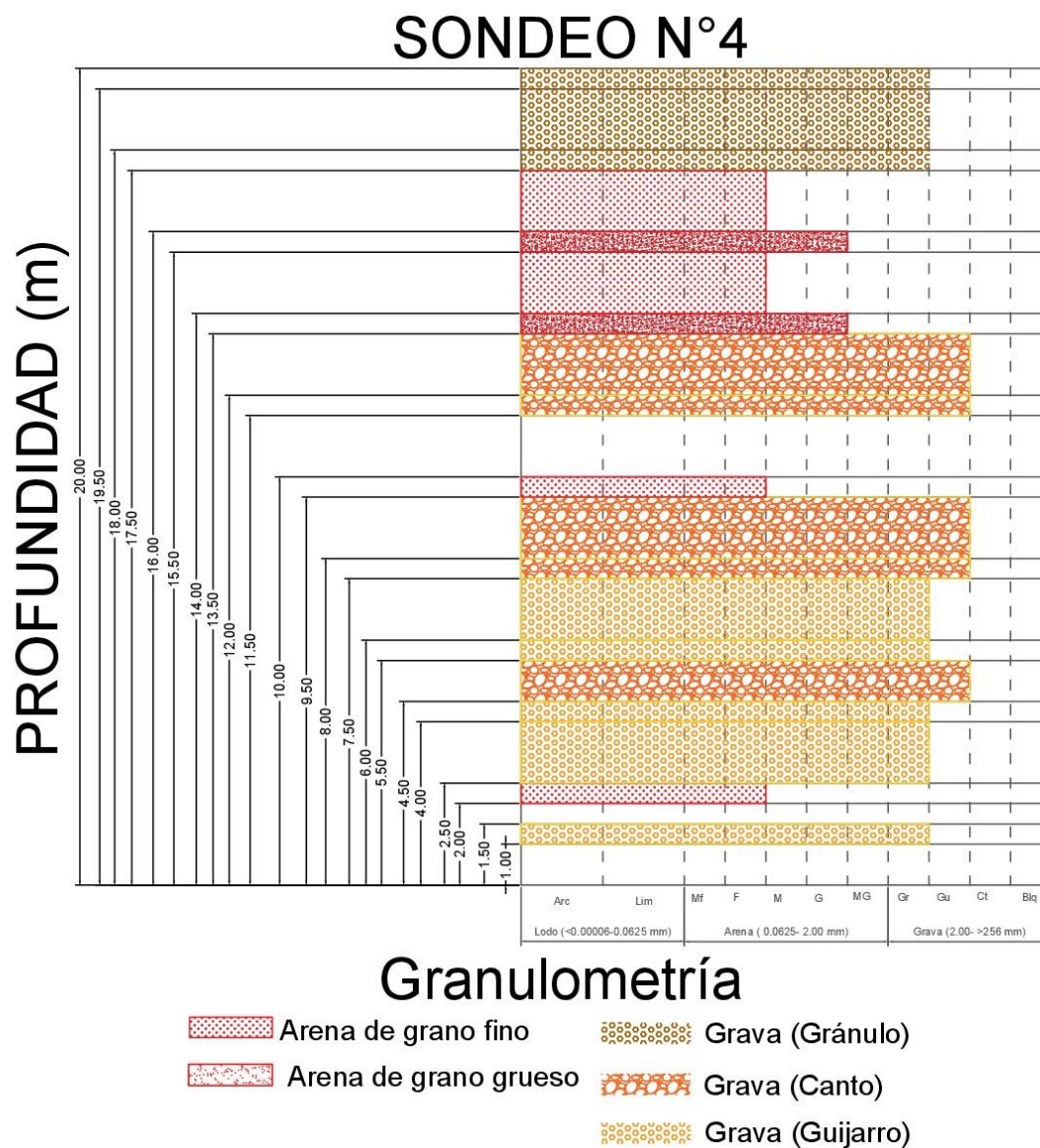


Imagen 22 Perfil estratigráfico del sondeo 4

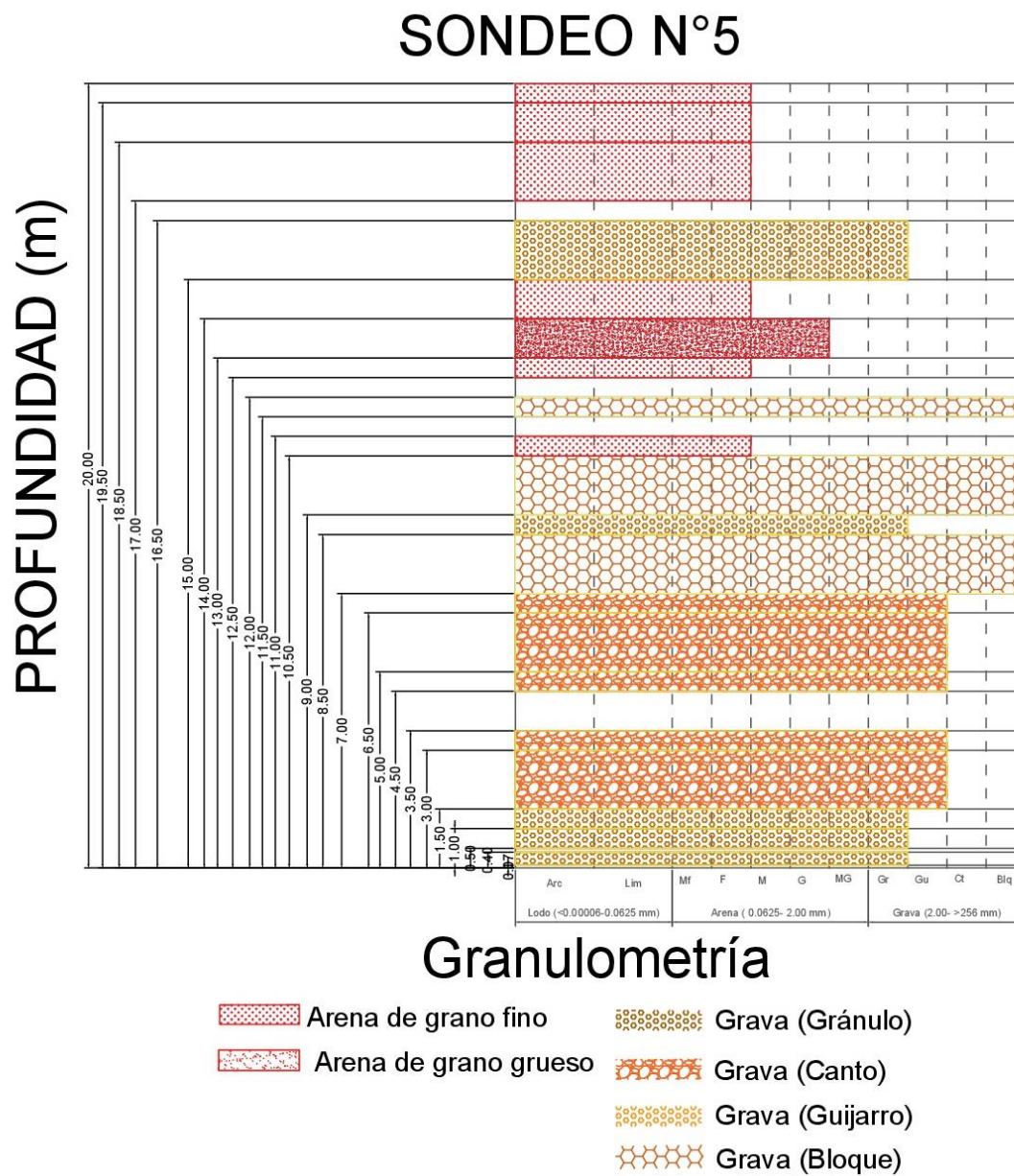


Imagen 23 Perfil estratigráfico del sondeo 5

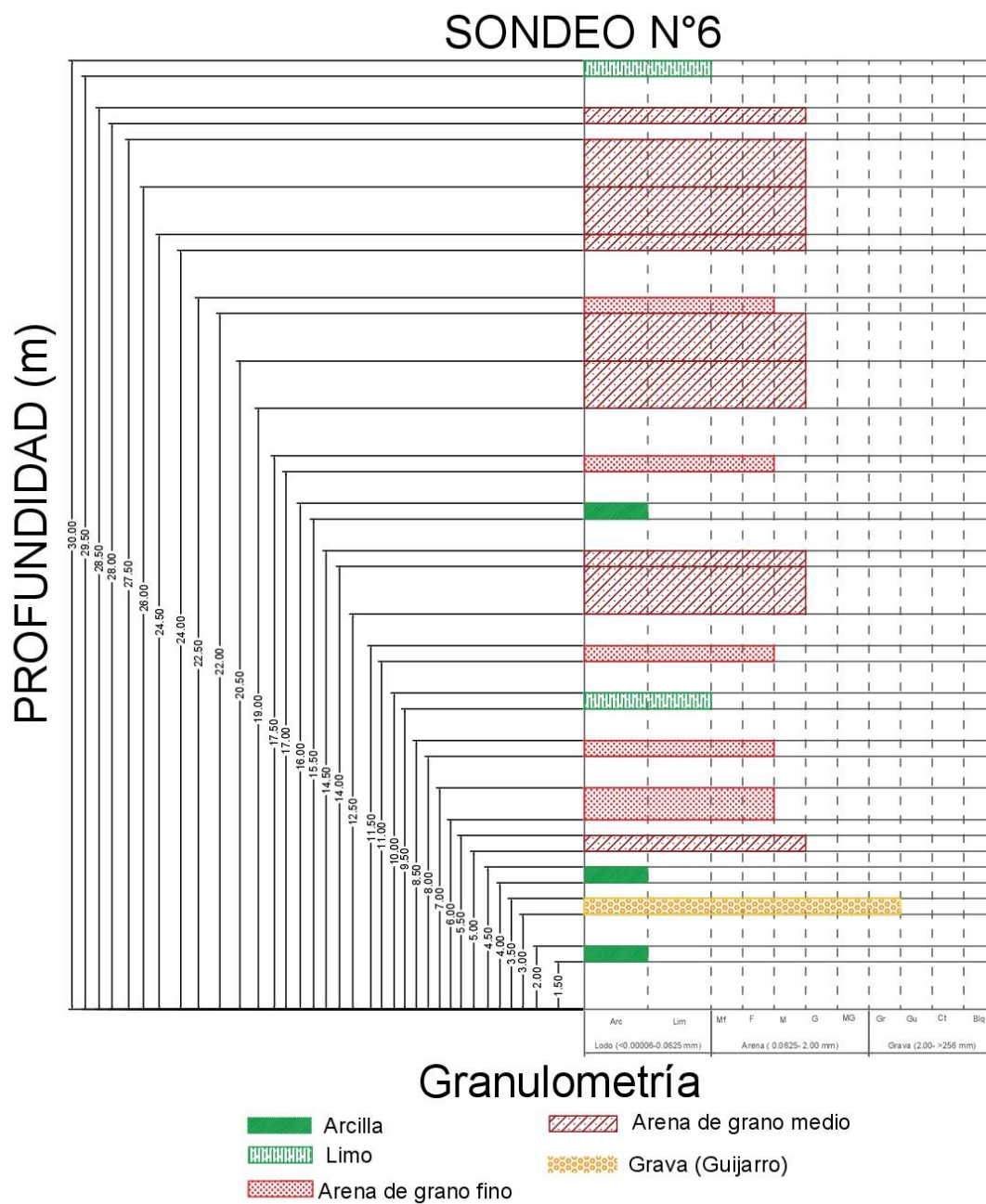


Imagen 24 Perfil estratigráfico del sondeo 6